

# 多菌种发酵青稞酒化学成分变化研究

曹妍<sup>1</sup>, 杜木英<sup>1,2,\*</sup>, 阚建全<sup>1,2</sup>, 陈宗道<sup>1,2</sup>

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

**摘要:** 研究青稞酒多菌种曲发酵过程中化学成分的动态变化规律并与传统曲发酵进行比较。结果表明: 青稞酒的多菌种曲发酵过程中, 表现出类似传统曲发酵过程中各成分的动态变化趋势。pH 值明显下降, 之后稳定在 pH4.0~4.3; 总酸含量随着发酵时间延长显著上升( $P < 0.05$ ), 发酵 60h 时达到最大值 0.83g/100g, 之后略有下降; 发酵品温先缓慢上升, 再缓慢下降, 最高达 36.2℃ 左右; 还原糖含量和糖化酶活力值都在 24h 内显著增加之后逐渐下降; 总糖含量显著下降, 酒精体积分数显著增高( $P < 0.05$ ), 多菌种曲发酵的酒精体积分数可达到 10.30%, 比传统曲发酵提高 57.73%; 酒醅中酸性蛋白酶活力及氨态氮含量同时呈显著性增高, 24h 后, 蛋白酶活力及氨态氮含量逐渐降低; 多菌种曲发酵的青稞酒总氨基酸含量 80.923mg/100mL, 缺乏蛋氨酸。感官评定表明风味较好的多菌种青稞酒的发酵时间约为 60~72h, 并保持了传统青稞酒的主体风味。

**关键词:** 青稞酒; 多菌种发酵; 化学成分

## Changes in Chemical Components during Fermentation of Highland Barley Wine with Multi-Strain Starter

CAO Yan<sup>1</sup>, DU Mu-ying<sup>1,2,\*</sup>, KAN Jian-quan<sup>1,2</sup>, CHEN Zong-dao<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The changes in chemical components of highland barley wine during fermentation with multi-strain starter were studied and compared with those of traditional fermented highland barley wine. The results showed that the dynamic change patterns of chemical components during fermentation with multi-strain starter and traditional starter were similar. pH value decreased rapidly at first and then kept stable at pH 4.0–4.3, the measured total acidity showed an increasing trend. Fermentation temperature increased first and then dropped gradually with the highest value of about 36.2 °C. Saccharifying enzyme activity and reducing sugar content increased significantly during 0–24 h, and then decreased till the end of fermentation. Total sugar content kept decreasing throughout the whole process. The alcohol concentration fermented by multi-strain starter was 10.30% which indicated a significant ( $P < 0.05$ ) increase by 57.73% compared with that obtained using traditional starter. Both ammonia-N content and acid proteinase activity increased in the early stages of fermentation followed by a slow decrease. Total free amino acid (FAA) in the final product fermented by multi-strain starter was 80.923 mg/100 mL and no methionine was detected in it. Sensory evaluation showed that the optimal fermentation duration was 60–72 h for highland barley wine production by multi-strain starter. Under this condition, the product was acceptable and maintained the major flavor of wine fermented by traditional starter as evaluated by sensory evaluation.

**Key words:** highland barley wine; fermentation with multi-strain starter; chemical composition

中图分类号: TS261.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)11-0252-05

青稞, 学名 *Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook.f., 又称为裸大麦, 元麦, 裸麦, 属于禾本科植物, 谷物中大麦的一类。青稞最早被殷墟甲骨文记载为“来”, 后来被证实其为青稞<sup>[1]</sup>。青稞酒, 藏语叫做

“羌”, 从古至今, 一直是藏族人民最喜欢喝的酒。“菌种是发酵业的灵魂”, 酿酒发酵中常用菌种有黄米曲霉、根霉、毛霉、红曲霉、酿酒酵母、生香酵母等。藏曲是西藏人民按照自己的传统自然接种方式制作

收稿日期: 2011-09-30

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(XDJK2009C040); 西南大学博士基金项目(SWUB2008068)

作者简介: 曹妍(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全。E-mail: watchmatch@163.com

\* 通信作者: 杜木英(1972—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为微生物与发酵工程。E-mail: muyingdu@swu.edu.cn

而成的酿酒发酵剂的统称。青稞酒的曲均为自然曲，曲中都含有根霉、毛霉、曲霉、酵母和产酸菌及其他杂菌<sup>[2]</sup>。与传统的自然曲发酵相比，人工纯化菌种，以多菌种曲进行发酵酿酒的相关报道较少。

青稞酒是一种具有民族特色的低度发酵酒，与目前市面上的黄酒、啤酒、清酒及米酒等有较大的差别，它除了具发酵酒特有的甜酸味外，还有浓郁的青稞酒特有的醇香味及混浊的体态。近年来，我国饮料酒工业发展迅速，但花色品种不多，各大酒业集团公司都在加大科技投入，研究换代产品。目前对黄酒等的研究已经越来越深入<sup>[3-8]</sup>，国外对日本清酒、特色发酵酒的纯种发酵研究也很多<sup>[9-12]</sup>。

本实验利用在传统青稞酒发酵过程中筛选并选育出的优良菌株制成的多菌种曲进行青稞酒发酵实验，以传统优良青稞酒曲发酵青稞酒作为对照，跟踪整个发酵过程，研究青稞酒多菌种发酵过程中的各成分动态变化，为青稞酒工业化产品的开发奠定理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

青稞、青稞酒传统优良酒曲 西藏拉萨；多菌种曲 实验室自制的米根霉纯种曲和酵母固体曲复配而成。

### 1.2 仪器与设备

FA2004A 型电子天平 上海恒平科学仪器有限公司；JJ-2(B)型组织捣碎匀浆机 上海标本模型厂；PHS-3C+ 智能酸度计 成都方舟科技开发公司；722 型分光光度计 上海菁华科技仪器有限公司；Kjeltec 2300 自动凯氏定氮仪 丹麦 Foss Tecator AB 公司；CS101-1A 型电热鼓风干燥箱 上海跃进医疗器械厂；L-8800 型全自动氨基酸分析仪 日本日立公司。

### 1.3 青稞酒酿造工艺流程

#### 1.3.1 传统发酵青稞酒

青稞→浸泡→蒸煮→摊凉→拌入青稞酒传统酒曲(酒曲加量为原料青稞质量的 0.4%~0.5%)→28~30℃糖化发酵 72h→青稞酒醅→加凉开水浸泡 4h 以上→过滤→青稞酒

#### 1.3.2 多菌种发酵青稞酒

酒曲用多菌种曲接种，加入量为原料青稞质量的 5%，其余步骤同传统发酵。

#### 1.3.3 取样方法

分别进行多菌种曲发酵和传统曲发酵，在发酵期间，每隔 12h 均匀取样，用组织粉碎机粉碎，作为实验的样品。对照为经蒸煮过的青稞，重复 3 次。

#### 1.3.4 理化指标的测定

pH 值、总酸含量、氨态氮含量的测定方法参考文献<sup>[13]</sup>；糖化酶活力、还原糖含量、总糖含量、酒精体积分、酸性蛋白酶活力的测定方法参考文献<sup>[14]</sup>；水分含量的测定方法参考文献<sup>[15]</sup>； $\alpha$ -淀粉酶活性的测定方法参照文献<sup>[16]</sup>。

### 1.3.5 青稞酒的感官评定

选择 10 名经过食品感官评定训练的具有丰富经验的师生参照表 1 的标准进行色、香、味、格综合打分评定，总分 15 分。

表 1 感官评定标准

Table 1 Standards for sensory evaluation of highland barley wine

项目	评定标准	评分
色泽(2分)	青稞酒固有的浅灰黄色，颜色正，光泽好	1.1~2.0
	颜色有杂色或是去光泽	0.1~1.0
香气(5分)	浓度适度、完满和谐、无异香、霉气等不愉快气味	2.6~5.0
	香气淡或者单一，有异味、霉气或过重的酸气	0.1~2.5
口味(5分)	青稞酒特有风味、醇和、甜酸协调、可以略有后苦味	2.6~5.0
	口味淡或单一，有霉味或过重的酸味	0.1~2.5
风格(3分)	青稞酒固有的清雅、醇和的风格，丰满、醇和、清雅、协调	1.6~3.0
	单调、不协调，缺少青稞酒固有的风格	0.1~1.5

## 1.4 数据处理与分析

所有的实验数据都是 3 次实验的平均值，用 Origin8.5 软件作图，并用 SPSS11.5 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵酒醅的 pH 值及总酸含量的变化

青稞酒发酵过程中发酵醅液的 pH 值与微生物的生长繁殖和代谢产物的积累有密切关系，是微生物在特定环境下代谢活动的综合指标，能够判断酒精发酵是否正常，是一项重要的发酵参数。青稞酒的总酸较之我国著名发酵酒黄酒，国外发酵酒如印度米酒等都高，说明青稞酒有不同于这些发酵酒的独特环境和发酵基质。

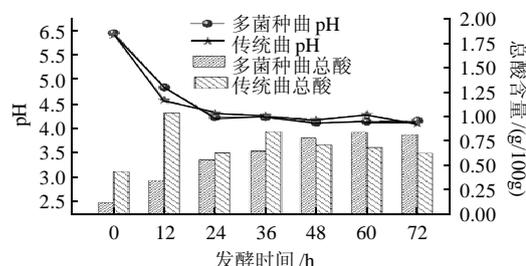


图 1 发酵酒醅 pH 值及总酸变化趋势

Fig.1 Changes of pH and acidity of highland barley during fermentation

由图 1 可知，多菌种曲和传统曲发酵 pH 值变化趋势基本一致，0~24h 期间 pH 值明显降低，之后趋于平

稳, 稳定在 4.0~4.3 之间。说明 24h 内微生物大量繁殖, 快速进入产酸阶段, 产生大量有机酸。后酵期 pH 值较稳定, 可能是由于后期糖类物质供应不足, 使生成的有机酸部分作为碳源被微生物利用消耗。

总酸含量是衡量发酵是否正常和酒质优劣的重要参数。多菌种曲发酵的酒醅总酸则随着发酵时间延长显著上升 ( $P < 0.05$ ), 发酵 60h 时达到最大值 0.83g/100g, 之后略有下降。统计分析表明, 多菌种曲 pH 值与多菌种曲总酸含量之间呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ); 而传统曲 pH 值与总酸含量之间相关性不显著 ( $P > 0.05$ )。多菌种曲 pH 值与总酸相关性好说明醪液中酸的种类较少, 酸较强, 易于控制酒醅 pH 值和总酸, 实现工业化生产, 并保证产品的质量稳定。而传统曲二者相关性差表明其中酸的种类多, 这对于酒的风味是有利的, 后续研究应筛选产风味菌株增强青稞酒的风味。

## 2.2 发酵过程中酒醅品温的变化

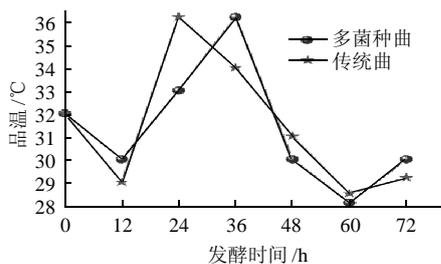


图2 发酵过程中酒醅品温的变化

Fig.2 Changes of temperature of highland barley during fermentation

温度的变化能有效而且间接地反映出发酵状况。适宜的品温利于酿造微生物生长, 使发酵顺利进行。由图 2 可知, 多菌种曲和传统曲的青稞酒醅在发酵过程中品温均为先缓慢上升, 到达最高温度 36.2°C 后显著下降 ( $P < 0.05$ ), 最后维持在 28.1~30.0°C 左右。前期降温和淀粉降解速度小有很大关系<sup>[7]</sup>, 之后品温迅速提高, 微生物进入旺盛的代谢时期, 开始进行酒精发酵, 温度逐渐降低, 最后温度有所回升, 可能是某些微生物又开始活动旺盛。微生物代谢产生呼吸热, 传统曲在发酵的 24h 左右就升至 36°C 左右, 可能是传统曲中产酸微生物快速生长繁殖所致, 所以传统曲酿造的青稞酒的酸度较之同类型的发酵酒偏大。酒醅品温“前期缓慢上升, 后期缓慢下降”, 符合微生物生长代谢的规律。

## 2.3 发酵过程中酒醅水分含量的变化

酒醅中霉菌酵母等微生物繁殖需要水分, 糖化、发酵亦以水分作为媒介。在发酵过程中, 如水分(总挥发物)不断增加, 则表明酒醅发酵越正常, 越彻底。酒

醅入池后溶氧存在于酒醅中, 发酵过程中糖被分解, 产生一定的水分。由图 3 可知, 多菌种发酵的水分含量从发酵 24h 后就一直略高于传统发酵, 预示其发酵更为彻底, 酒醅的水分含量在发酵过程中显著增加 ( $P < 0.05$ ), 说明多菌种曲发酵进行正常。

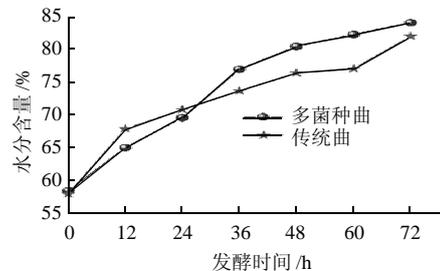


图3 发酵酒醅的水分含量变化趋势

Fig.3 Changes of water content of highland barley during fermentation

## 2.4 发酵过程中酒醅还原糖含量及糖化酶活力的变化

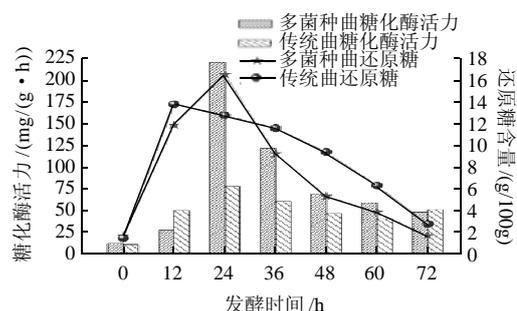


图4 发酵酒醅还原糖含量及糖化酶活力变化趋势

Fig.4 Changes of reducing sugar content and glucoamylase activity of highland barley during fermentation

还原糖是青稞酒发酵过程中微生物直接利用的碳源物质, 发酵过程中的动态变化直接影响酒精的生成, 反映了发酵中微生物利用碳源的情况, 其变化微妙地反映了发酵过程的协调程度。由图 4 可知, 在 0~24h 内, 糖化酶活力及还原糖含量均显著增加 ( $P < 0.05$ ), 因为根霉大量分泌糖化酶, 还原糖含量逐步升高。24h 后糖化酶活力逐渐降低, 酿酒酵母利用还原糖进行酒精发酵, 还原糖含量也随之下降。多菌种曲还原糖含量与多菌种曲糖化酶活力之间呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 而传统曲还原糖含量与传统曲糖化酶活力相关性不显著 ( $P > 0.05$ ), 再次证实了多菌种曲发酵的规律性和可控性。多菌种曲的酒醅残糖也低于传统曲发酵, 说明多菌种曲发酵糖化力更强, 发酵更彻底, 有利于提高原料利用率。

2.5 发酵酒醅的酒精体积分数及总糖含量变化

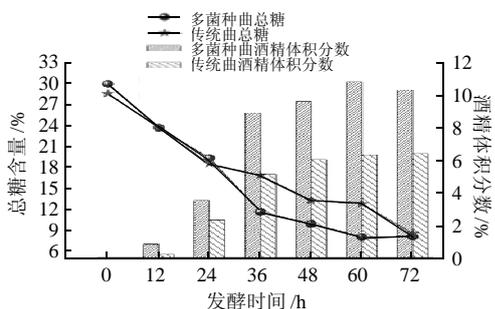


图5 发酵酒醅总糖含量及酒精体积分数变化趋势

Fig.5 Changes of total sugar content and alcohol volume fraction during fermentation

酒精是酒醅发酵的主要产物，含量多少是鉴定酒醅质量的主要指标，也是判断发酵是否正常的重要依据。由图5可知，在整个青稞酒发酵过程中，发酵酒醅的酒精体积分数显著性增高( $P < 0.05$ )，总糖含量呈显著性下降趋势( $P < 0.05$ )。当发酵36h后，酒精体积分数趋于平稳，是因为发酵进入了以产酸产酯为主的阶段，酯化作用和呼吸作用都会消耗乙醇，所以酒精体积分数保持平稳。多菌种曲酒精体积分数与多菌种曲总糖含量之间以及传统曲酒精体积分数与传统曲总糖含量都呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。

多菌种曲发酵是本实验室从传统优良青稞酒曲中选育的高产糖化酶菌株和耐酒精能力达14%的酵母分别制曲，混合发酵，酒醅酒精体积分数显著提高，由传统曲的产酒精体积分数6.53%提高到10.30%，比传统曲发酵提高57.73%。

2.6 发酵过程中酒醅氨态氮及酸性蛋白酶的变化

氨态氮是构成微生物细胞蛋白质和核酸的主要元素，氨态氮在蒸煮时便溶解于水，使可溶性氮增加，有利于微生物的作用，是发酵微生物生长繁殖的所需主要氮源。氨态氮的利用能保证各种酶在内的蛋白质合成，使细胞中已有的酶活化。

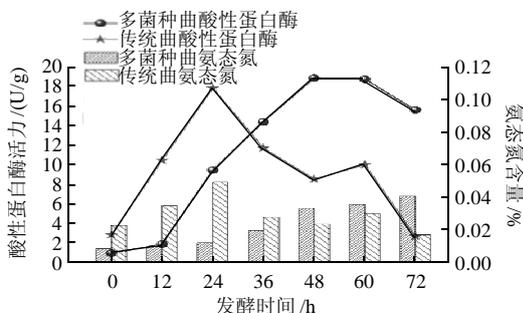


图6 发酵酒醅氨态氮及酸性蛋白酶变化趋势

Fig.6 Changes of ammonium nitrogen content and acid protease activity

由图6可知，在0~24h内，酒醅中氨态氮含量及酸性蛋白酶活力同时呈显著性增高( $P < 0.05$ )；24h后，蛋白酶活力逐渐降低，氨态氮被微生物利用，含量也降低。目前，关于发酵酒生产过程中氨态氮与酸性蛋白酶的变化之间的关系还未见其他报道。多菌种曲氨态氮与多菌种曲蛋白酶活力呈显著正相关( $P < 0.05$ )。传统曲氨态氮与传统曲蛋白酶活力呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。

2.7 发酵过程中酒醅的 $\alpha$ -淀粉酶活性的变化

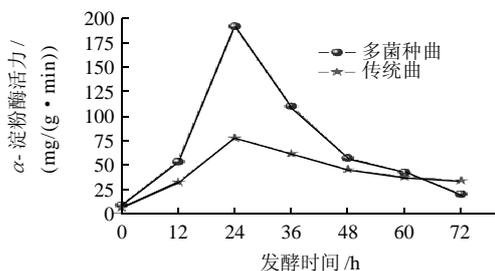


图7 发酵酒醅 $\alpha$ -淀粉酶变化趋势

Fig.7 Change of  $\alpha$ -amylases activity during fermentation

$\alpha$ -淀粉酶能在较高温度下随机水解淀粉、可溶性糊精及低聚糖中的 $\alpha$ -1,4-葡萄糖苷键，酶作用后可使糊化淀粉的黏度迅速降低，变成液体淀粉，水解生成糊精和少量葡萄糖、麦芽糖。由图7可知，发酵酒醅 $\alpha$ -淀粉酶在24h内显著升高( $P < 0.05$ )，然后又显著下降( $P < 0.05$ )。说明在24h时淀粉被水解速率最快，产生大量还原糖，为后期发酵提供充足的碳源。多菌种曲发酵过程中的 $\alpha$ -淀粉酶最大值是传统曲发酵 $\alpha$ -淀粉酶最大值的3倍， $\alpha$ -淀粉酶活性高可以更快更有效的水解淀粉产生还原糖。

2.8 多菌种发酵曲青稞酒的游离氨基酸含量检测结果

表2 多菌种发酵青稞酒的氨基酸组成

Table 2 Amino acid composition in highland barley wine fermented with multi-strain starter

氨基酸	含量/(mg/100mL)	氨基酸	含量/(mg/100mL)
天门冬氨酸	2.685	异亮氨酸	0.917
苏氨酸	2.391	亮氨酸	3.700
丝氨酸	1.293	酪氨酸	7.388
谷氨酸	9.562	苯丙氨酸	15.069
甘氨酸	3.371	赖氨酸	0.311
丙氨酸	7.941	组氨酸	5.220
半胱氨酸	2.635	精氨酸	3.308
缬氨酸	4.064	脯氨酸	11.068
蛋氨酸	未检出	总和	80.923

由表2可知,多菌种发酵的青稞酒产品检测出16种氨基酸,其总氨基酸含量80.923mg/100mL,略低于传统优良青稞酒氨基酸含量,并且缺乏蛋氨酸。

### 2.9 多菌种曲发酵青稞酒与传统发酵青稞酒的感官评定

不管是传统曲还是多菌种曲,随着发酵的进行,青稞酒中的甜、酸、酒香等逐渐形成,风味也逐渐变佳,多菌种曲发酵速度稍快,酒味更加浓郁,在60h已经具有青稞酒的典型风味。感官检验说明风味较好的多菌种曲或者传统青稞酒的发酵时间约为60~72h。以传统曲酿造的优良青稞酒为对照,对多菌种发酵青稞酒进行感官评价结果如表3所示,多菌种发酵的青稞酒的色泽浅灰色至浅黄色,色泽正,有光泽;香气清爽、淡雅、醇香,没有异杂味;口味清雅、爽口,甜味、酸味、涩味、苦味协调,口感醇和;整体表现为清雅、醇和,酒味较重,相互协调,具有青稞酒典型特征与风格。

表3 多菌种发酵的青稞酒的感官评价

Table 3 Sensory evaluation score of barley wine fermented with multi-strain starter

项目	色泽	香气	口味	风格	感官评分
传统曲发酵青稞酒	2.0	4.8	4.9	2.8	14.5
多菌种曲发酵的青稞酒	2.0	4.7	4.6	2.7	14.0

多菌种发酵青稞酒乙醛等醛类大幅度减少,高级醇含量也低于传统曲青稞酒,说明多菌种发酵能降低这两类物质的含量,使青稞酒的安全性提高,具体表现为能减少传统青稞酒饮后“上头”的不适症状。多菌种发酵青稞酒在感官得分上接近传统青稞酒,本实验的多菌种曲发酵青稞酒,也经藏民同胞品尝,普遍表示能够接受这种新工艺青稞酒。说明本实验生产的青稞酒保持了传统青稞酒的主体风味。

### 3 结 论

青稞酒多菌种曲发酵过程中,表现出类似传统发酵的物质成分动态变化趋势,多菌种曲发酵,pH值和总酸的相关性好,说明醪液中酸的种类少,易于工业生产,控制产品质量,品温缓升缓降,与传统曲发酵相比变化趋势更平缓,利于微生物生长。水分含量逐渐增高且大于传统曲发酵,酒醅发酵更彻底。还原糖和糖化酶活力均高于传统曲发酵,且在24h内显著增加,酒醅残糖更低,发酵更彻底,提高了原料利用率。总糖和酒精体积分数的相关性好,比传统曲发酵更好的利用了还原糖进行酒精发酵,酒精体积分数提高了57.73%。酒醅中酸性蛋白酶活力及氨态氮含量同时呈显著性增高。 $\alpha$ -淀粉酶24h时活性最大,大量水解淀粉产生

还原糖,是传统曲 $\alpha$ -淀粉酶的3倍。总氨基酸含量只有80.923mg/100mL,缺乏蛋氨酸,低于传统曲发酵的青稞酒。感官评定表明风味较好的多菌种曲青稞酒的发酵时间约为60~72h,并保持了传统青稞酒的主体风味。

青稞酒发酵过程中化学成分的变化会对酒的风味产生影响。国内对传统发酵酒黄酒风味研究及国外对清酒的研究都较为成熟<sup>[18-23]</sup>,青稞酒的后续研究应借鉴这些方法,研究青稞酒主体风味成分的组成及形成机制,以期从根本上控制青稞酒的风味。

### 参 考 文 献:

- [1] 徐廷文,冯宗云.从牟牟的义释谈中国栽培大麦起源问题[J].西南农业学报,2001,14(1):101-104.
- [2] 王丽华.西藏传统青稞酒的生产菌株选育及生产技术研究[D].重庆:西南大学,2008.
- [3] 胡普信.中国黄酒的科研现状及发展[J].中国酿造,2008(2):4-6.
- [4] 刘俊,徐岩,赵光鳌.优势传统黄酒类制造业关键技术与应用系列4:黄酒非糖固形物成分的研究[J].中国酿造,2009(8):24-28.
- [5] 盛风云,徐岩,赵光鳌,等.优势传统黄酒类制造业关键技术与应用系列5:液化法黄酒酿造新工艺中液化程度控制的研究[J].中国酿造,2009(9):110-114.
- [6] 毛青钟,宣贤尧,鲁瑞刚,等.机械化生产黄酒酵母菌生物学特性的研究[J].中国酿造,2008(2):29-32.
- [7] 寿虹志,凌志勇,杨旭,等.浅析黄酒麦曲中的微生物与黄酒风味的关系[J].中国酿造,2007(8):55-57.
- [8] 刘永乐,俞健,黄寿恩,等.甜型黄酒发酵过程中的生物和化学成分性质研究[J].中国食品学报,2004,4(1):60-64.
- [9] TAMANG J P, THAPA S. Fermentation dynamics during production of Bhaati Jaanr, a traditional fermented rice beverage of the Eastern Himalayas [J]. Food Biotechnology, 2006, 20: 251-261.
- [10] DUNG N T P, ROMBOUTS F M, NOUT M J R. Functionality of selected strains of moulds and yeasts from Vietnamese rice wine starters [J]. Food Microbiology, 2006, 23: 331-340.
- [11] HOLZAPFEL W H. Use of starter cultures in fermentation on a household scale[J]. Food Control, 1997, 8: 241-258.
- [12] DUNG N T P. Development of defined mixed-culture fungal fermentation starter granulate for controlled production of rice wine[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2005, 6: 429-441.
- [13] 胡明方.食品分析[M].重庆:西南师范大学出版社,1992.
- [14] 王福荣.酿酒分析与检测[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [15] 杜木英,伍怡邨,阙建全,等.传统青稞酒发酵过程中化学成分动态变化研究[J].食品工业科技,2007,28(9):94-98.
- [16] 杜木英.西藏青稞酒发酵微生物及酿造技术研究[D].重庆:西南大学,2008.
- [17] 黄建华.衡水老白干酒醅发酵过程中主要成分变化及影响因素和金属离子对老白干酒曲酯化酶影响[D].大连:大连轻工业学院,2007.
- [18] ISOGAI A, UTSUNOMIYA H, IWATA H. Changes in the concentrations of sotolon and furfural during the maturation of sake[J]. J Brew Soc Jpn, 2004, 99(5): 374-380.
- [19] ISOGAI A, UTSUNOMIYA H, KANDA R, et al. Changes in the aroma compounds of sake during aging[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(10): 4118-4123.
- [20] ISOGAI A, UTSUNOMIYA H, KANDA R, et al. Aroma compounds responsible for "hineka" in commercial sake[J]. J Brew Soc Jpn, 2006, 101(2): 125-131.
- [21] TAKAHASHI M, ISOGAI A, UTSUNOMIYA H, et al. GC-Olfactometry analysis of the aroma components in sake koji[J]. J Brew Soc Jpn, 2006, 101(12): 957-963.
- [22] LUO Tao, FAN Wenlai, XU Yan. Characterization of volatile and semi-volatile compounds in Chinese rice wines by headspace solid phase microextraction followed by gas chromatography-mass spectrometry[J]. J Inst Brew, 2008, 114(2): 172-179.
- [23] 吴春.古越龙山黄酒的特征风味物质及其成因的初步研究[D].无锡:江南大学,2009.